

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Шебзухова Татьяна Александровна

Должность: Директор Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского
федерального университета

Дата подписания: 12.09.2023 17:23:00

Уникальный программный ключ:

d74ce93cd40e39275c3ba2f58486412a1c8ef96f

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное автономное

образовательное учреждение высшего образования

«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

УТВЕРЖДАЮ

И.о. заведующего кафедрой
физики, электротехники и электроэнергетики

Масютина Г.В.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по
дисциплине **«Приемники и потребители электроэнергии в системах электроснабжения»**

(ЭЛЕКТРОННЫЙ ДОКУМЕНТ)

Направление подготовки	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
Направленность (профиль)	Передача и распределение электрической энергии в системах электроснабжения
Квалификация выпускника	Бакалавр
Форма обучения	заочная
Год начала обучения	2021 г
Реализуется в 6 семестре	

Предисловие

1. Назначение

формирование у студентов систематических знаний по вопросам проектирования и эксплуатации комплексных систем электроснабжения городов и промышленных предприятий

Фонд оценочных средств текущей и промежуточной аттестации на основе рабочей программы Приемники и потребители электроэнергии в системах электроснабжения

2. в соответствии с образовательной программой по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника, утвержденной на заседании Учёного совета СКФУ протокол № от «__»_____г.

3. Разработчик(и)_____

4. Разработчик_____

5. ФОС рассмотрен и утвержден на заседании кафедры ФЭиЭ, Протокол № от «__»_____ 20__г.

ФОС согласован с выпускающей кафедрой «Физика, электротехника и электроэнергетика» Протокол № от «__»_____ 20__г.

6. Проведена экспертиза ФОС. Члены экспертной группы, проводившие внутреннюю экспертизу:

Председатель: Зав. кафедрой «Физика, электротехника и электроэнергетика»
доцент кафедры «Физика, электротехника и электроэнергетика»
доцент кафедры «Физика, электротехника и электроэнергетика»

Экспертное заключение: ФОС текущего контроля и промежуточной аттестации соответствует ФГОС ВО подготовки бакалавра по направлению 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника».

«__»_____

(подпись председателя)

Срок действия ФОС _____

Паспорт фонда оценочных средств для проведения промежуточной аттестации

По дисциплине	Приемники и потребители электроэнергии в системах электроснабжения
Направление подготовки	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
Профиль	Передача и распределение электрической энергии в системах электроснабжения
Квалификация выпускника	бакалавр
Форма обучения	заочная
Учебный план	2021

Код оцениваемой компетенции (или её части)	Модуль, раздел, тема (в соответствии с Программой)	Тип контроля	Вид контроля	Компонент фонда оценочных средств	Количество элементов, шт.	
					Базовый	Повышенный
ПК-1	1-18	Текущий	Устный	Вопросы для собеседования	52	15
ПК-1	1-18	Текущий	Письменный	Комплект разноуровневых заданий	2	1
ПК-1	1-18	Текущий	Письменный	тестирование	17	5

Составитель _____
(подпись)

« ____ » _____ 20 ____ г.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт сервиса, туризма и дизайна (филиал) СКФУ в г. Пятигорске

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой _____

«__» _____ 20__ г.

Перечень вопросов для промежуточной аттестации по дисциплине «Приемники и потребители электроэнергии в системах электроснабжения»

Базовый уровень

Знать:

закономерности формирования величины расчетной нагрузки на различных уровнях системы электроснабжения и практические методы ее расчета,
типы схем, применяемых в системах электроснабжения и их конструктивное выполнение,
типы оборудования

1. Общая характеристика систем электроснабжения городов, промышленных предприятий, сельского хозяйства.
2. Потребители электроэнергии и их классификация.
3. Тепловые воздействия электрической нагрузки на элементы передачи электрической энергии.
4. Графики электрических нагрузок и коэффициенты, характеризующие режимы работы электроустановок.
5. Определение расчетных нагрузок методом упорядоченных диаграмм.
6. Метод удельных плотностей нагрузок.
7. Метод удельного потребления эл. энергии на единицу продукции.
8. Вероятностный метод определения электрических нагрузок.
9. Потери мощности и электроэнергии в линии электропередач и реакторах.
10. Потери мощности и электроэнергии в трансформаторах.
11. Способы снижения активных потерь мощности и электроэнергии.
12. Способы снижения реактивных нагрузок потребителей.
13. Влияние мощности устанавливаемых компенсирующих устройств на мощности ТП.
14. Проблема компенсации реактивной мощности в системах электроснабжения.
15. Экономические и технические характеристики компенсирующих устройств.

16. Типы компенсаций реактивной энергии, варианты их реализации.
17. Границы и степень ответственности за выполнение норм показателей качества электроэнергии.
18. Причины превышения нормированных ПКЭ в сетях 10 кВ
19. Причины превышения нормированных ПКЭ в сетях 0,4 кВ
20. Режимы работы нейтрали в сетях среднего напряжения.
21. Режимы работы нейтрали в сетях низкого напряжения.
22. Влияние режима работы нейтрали на ПКЭ.
23. Комплексная характеристика электрических схем электроснабжения.
24. Выбор схем и напряжений электрических сетей.

Уметь

составлять схемы замещения всех последовательностей и определения параметров их элементов;

рассчитывать начальный и ударный токи всех видов повреждений в именованных и относительных единицах точно и приближенно

Владеть:

использовать современные информационные технологии, управлять информацией с применением прикладных программ; использовать сетевые компьютерные технологии, базы данных и пакеты прикладных программ в своей предметной области

1. Назначение и конструктивное исполнение электрических сетей.
2. Условия пользования и расчета за электроэнергию.
3. Общие требования к выбору и прокладке электрических сетей.
4. Схемы и конструктивные исполнения межцеховых электрических сетей.
5. Схемы и конструктивные исполнения внутрицеховых электрических сетей.
6. Защитная аппаратура в сетях до 1 кВ. Основные характеристики.
7. Защитная и коммутационная аппаратура в сетях выше 1000 В. Основные характеристики.
8. Выбор аппаратуры напряжением более 1000 В.
9. Термические и электродинамические действия токов КЗ.
10. Выбор и проверка аппаратов по условиям КЗ.
11. Категории надежности электроснабжения электроприемников.
12. Влияние допустимых систематических и послеаварийных перегрузок оборудования на выбор схемы.
13. Источники питания в системах электроснабжения.
14. Характеристика глубоких вводов ВН в городах и промышленных предприятиях.
15. Основные схемы глубоких вводов.
16. Открытые распределительные устройства.
17. Закрытые распределительные устройства.
18. Конструктивное выполнение подстанций.

Повышенный уровень

1. Выбор местоположения подстанций.
2. Нормированные показатели качества электроэнергии.

3. Методы и способы введения ПКЭ в допустимые пределы.
4. Электрический расчет ЛЭП.
5. Расчет токов однофазного КЗ в сети.
6. Расчет токов трехфазного КЗ.
7. Выбор аппаратуры в сетях до 1 кВ.
8. Расчет электрических сетей по потере напряжения.
9. Расчет эл. сетей по экономической плотности тока.
10. Расчет сетей электрического освещения.

Критерии оценивания компетенций:

Оценка «отлично» выставляется студенту, если теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов; исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно излагает материал; свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний; использует в ответе дополнительный материал все предусмотренные программой задания выполнены, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к максимальному; анализирует полученные результаты; проявляет самостоятельность при выполнении заданий.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если теоретическое содержание курса освоено полностью, необходимые практические компетенции в основном сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество их выполнения достаточно высокое. Студент твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, большинство предусмотренных программой заданий выполнено, но в них имеются ошибки, при ответе на поставленный вопрос студент допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, наблюдаются нарушения логической последовательности в изложении программного материала.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если он не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы, необходимые практические компетенции не сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий не выполнено, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к минимальному.

2. Описание шкалы оценивания

В рамках рейтинговой системы успеваемость студентов по каждой дисциплине оценивается в ходе текущего контроля и промежуточной аттестации.

Уровень выполнения контрольного задания	Рейтинговый балл (в % от максимального балла за контрольное задание)
Отличный	100
Хороший	80
Удовлетворительный	60
Неудовлетворительный	0

3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Текущая аттестация студентов проводится преподавателем, ведущим лекционные и практические занятия по дисциплине по результатам рейтинговой оценки знаний студентов.

Процедура проведения экзамена осуществляется в соответствии с Положением о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по образовательным программам высшего образования в СКФУ.

Составитель _____
(подпись)

« ____ » _____ 20 ____ г.

,

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт сервиса, туризма и дизайна (филиал) СКФУ в г. Пятигорске

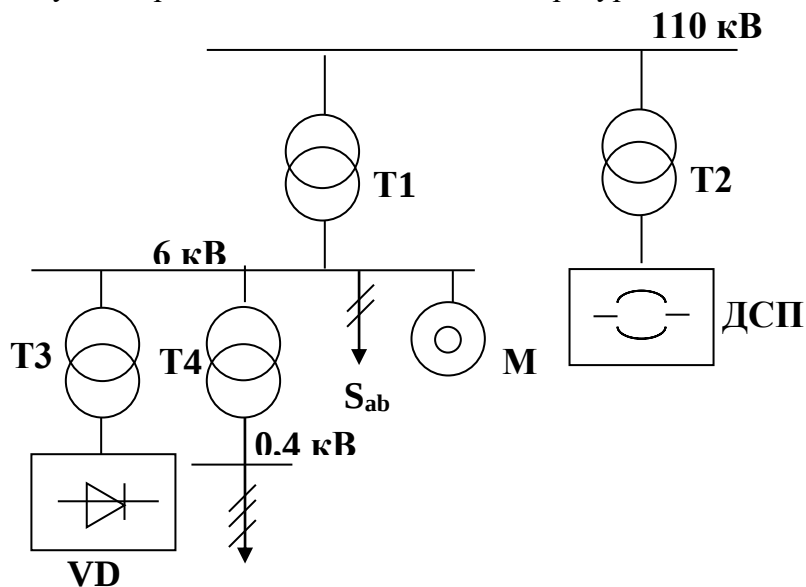
УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой _____

«__» _____ 20__ г.

Перечень заданий по контрольной работе по дисциплине «Приемники и потребители
электроэнергии в системах электроснабжения»

Задание на контрольную работу

Для заданной схемы рассчитать коэффициенты n -ой гармонической составляющей напряжения, коэффициент несинусоидальности на шинах 110 и 6 кВ, дополнительные потери мощности и снижение срока службы цехового трансформатора Т4 и асинхронного двигателя М из-за перегрева токами высших гармоник и несимметрии напряжения. Нормальный срок службы принять 20 лет. Рабочая температура 75°C.



Исходные данные:

С: $S_{кз,110}$ – по таблице; $S_{кз,6}=170$ МВА; $S_{кз,0,4}=3$ МВА

Т2: $S_{Т2}=50$ МВА; $U_{ном}=110$ кВ

Т3: $S_{Т3}=10$ МВА; $U_{ном}=6$ кВ; $u_{к,\%}=10,5\%$

T4: $S_{T4}=1$ МВА; $U_{ном}=6$ кВ; $\eta_{к,\%}=5,5\%$; $\Delta P_{кз}=10,5$ кВт; $\Delta P_{хх}=1,9$ кВт
 М: P_M – по таблице; $\cos \varphi=0,9$; $K_M=1,2$; $K_I=5,1$
 VD: $S_{пр}=8$ МВА; $\cos \varphi=0,8$; $m=6$
 Н: $S_{нагр}=2$ МВА; $S_{аб}=4$ МВА

Данные по шифру зачетной книжки

Предпоследняя цифра	$S_{кз,110}$, МВА	Последняя цифра	P_M , кВт
0	1500	0	200
1	1600	1	210
2	1700	2	220
3	1800	3	230
4	1900	4	240
5	2000	5	250
6	2100	6	260
7	2200	7	270
8	2300	8	280
9	2400	9	290

1. Расчет коэффициента несинусоидальности

Вентильные преобразователи

В настоящее время самой распространенной схемой выпрямления для мощных преобразователей является трехфазная мостовая схема (схема Ларионова), представленная на рис. 1.1, а. Эта схема выпрямления позволяет осуществить так называемую шестифазную или шестиимпульсную схему выпрямления. Соединение последовательно или параллельно двух или нескольких выпрямительных мостов при питании их напряжением, сдвинутым на соответствующий угол, позволяет получить 12, 18, 24, 36, 48...-фазные схемы выпрямления (кратные шести). Сдвиг угла напряжения осуществляется применением соответствующих схем соединения первичных или вторичных обмоток трансформатора: Y — звезда, Δ — треугольник, Z — зигзаг, которые позволяют осуществить практически схемы любой фазности (импульсности) выпрямления.

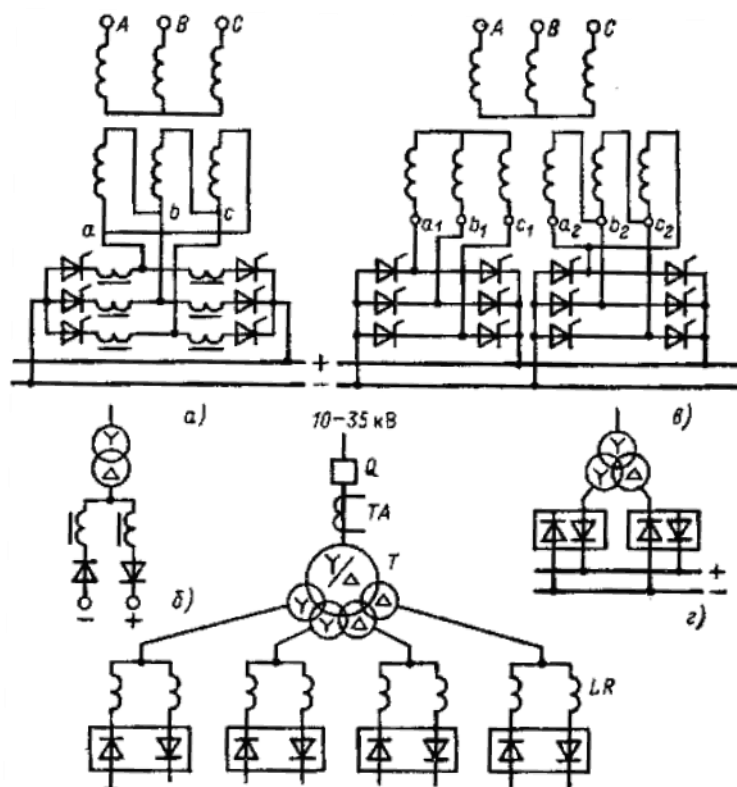


Рис. 1.1. Схемы полупроводниковых преобразовательных агрегатов:

а — агрегат до 6300 А шестифазного режима выпрямления (трехлинейная схема); б — однолинейная схема; в — трехлинейная схема агрегата 12500 А двенадцати-фазного режима выпрямления; г — однолинейная схема; д — однолинейная схема агрегата 25 000 А и его коммутационная аппаратура

Первичным является появление в питающей сети коммутационных искажений напряжения, а гармонический анализ их позволяет выявить наличие высших гармоник напряжения. Порядок высших гармоник определяется формулой $n = mk \pm 1$, где m — число фаз выпрямления; $k=0, 1, 2, 3, \dots$ — последовательный ряд натуральных чисел.

Для шестифазной системы напряжения в кривой питающего напряжения имеются высшие гармоники следующего порядка, называемые каноническими: $n=5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, \dots$; для 12-фазной схемы $n=11, 13, 23, 25, 35, 37, \dots$; для 24-фазной схемы $n=23, 25, 47, 49, 71, 73$ и т. д.

Методика расчета коэффициента несинусоидальности напряжения k_U основывается на вычислении в любой точке питающей сети действующих значений коммутационных искажений напряжения, что равносильно учету всех высших гармоник. Следовательно, для определения k_U при работе вентильных преобразователей нет необходимости определять уровни отдельных гармоник. При этом удастся избежать ошибки, возникающей при учете только определенного числа высших гармоник.

Методика позволяет вычислять k_U в любой точке питающей сети, используя параметры, полученные при вычислении токов КЗ, и основывается на следующих допущениях: проводимости элементов питающей сети считаются неемкостными. При этом допущении ошибка в расчете не превышает 10—15%. Предполагается, что в узлах сети, расположенных в непосредственной близости от вентильных преобразователей, отсутствуют БК, предназначенные для компенсации реактивной мощности; не учитываются аномальные гармоники.

Коэффициент несинусоидальности напряжения питающей сети определяется по формуле [2]

$$k_U = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{40} U_n^2}}{U_{\text{ном}}} 100 \quad (1.1)$$

Общий коэффициент несинусоидальности питающей сети при работе вентильных преобразователей может быть определен по формуле [2]

$$k_u = 100 \cdot x_c \sqrt{\frac{0,955 \cdot \sin \varphi}{x_c + x_{\text{пр}}} - 0,91} \quad (1.2)$$

где $x_c = \frac{S_{\text{пр}}}{S_{\text{кз},6}}$ - эквивалентное сопротивление системы в относительных единицах,

приведенное к мощности преобразователя $S_{\text{пр}}$, т. е. сопротивление от условной точки сети бесконечной мощности до точки сети, в которой определяется k_U ; $S_{\text{кз}}$ — мощность КЗ в точке, в которой определяется k_U ; $x_{\text{пр}}$ — индуктивное сопротивление цепи преобразователя в относительных единицах, приведенное к $S_{\text{пр}}$, т. е. сопротивление от точки возникновения коммутационных КЗ до точки, в которой определяется k_U .

Формула (1.3) справедлива для преобразователей с любой последовательностью чередования фаз.

Кроме коэффициента несинусоидальности ГОСТ нормирует коэффициенты n -ой гармонической составляющей. Согласно [4]

$$k_{U(n)} = \frac{U_n}{U_{\text{ном}}} 100, \% \quad (1.3)$$

При определении k_U особое внимание следует обращать на $x_{\text{пр}}$. Чаще всего требуется определять k_U на шинах питания мощных тиристорных преобразователей. Под преобразователем подразумеваются выпрямительный мост (или их группа) и питающий понижающий трансформатор.

В этом случае $x_{\text{пр}}$ равно сопротивлению преобразовательного трансформатора и определяется по формуле [2]

$$x_{\text{пр}} = \frac{u_{\text{к}\%}}{100} \left(1 + \frac{k_p}{4}\right) \frac{S_{\text{пр}}}{S_{\text{ном},\text{T}}} \quad (1.4)$$

где $S_{\text{ном},\text{T}}$ — номинальная мощность преобразовательного трансформатора; k_p — коэффициент расщепления обмоток этого трансформатора; $u_{\text{к}} \%$ — сквозное напряжение КЗ трансформатора, приведенное к полной номинальной мощности трансформатора.

Для двухобмоточных трансформаторов, применяемых в шестифазных (трехфазных мостовых) схемах выпрямления, $k_p = 0$, трехобмоточных трансформаторов, применяемых в преобразователях, выполненных по двенадцатифазной схеме, в общем виде

$$k_p = \frac{u_{\text{к}(\text{HH1-HH2})}}{u_{\text{к}}}$$

где $u_{\text{к}(\text{HH1-HH2})}$ — напряжение КЗ между расщепленными вторичными обмотками трансформатора.

В общем случае для трансформаторов с расщепленными обмотками $k_p=0\div 4$, если ветви низшего напряжения трансформатора имеют хорошую электромагнитную связь друг с другом, $k_p=0$; если обмотки НН не имеют магнитной связи друг с другом или преобразователь выполнен по схеме с двумя трансформаторами, имеющими разные схемы соединения, то $K_p=4$.

Действующее значение высшей гармоники напряжения в любой точке питающей сети при работе преобразователя с любой последовательностью чередования фаз выпрямления может быть определено по формуле [2]

$$U_n = \frac{m}{\pi \cdot n} U_{\text{ном}} \frac{x_c}{x_c + x_{\text{пр}}} \sin \varphi \cdot \sin(n \cdot \gamma) \quad (1.5)$$

$$\text{где } \gamma = \frac{3(x_c + x_{\text{пр}})}{m \cdot \sin \varphi} - \text{угол коммутации, рад.}$$

Действующее значение тока любой гармоники в цепи преобразователя определяется из выражения [2]

$$I_n = \frac{m}{\sqrt{3}\pi} \frac{S_{\text{пр}}}{U_{\text{ном}} (x_c + x_{\text{пр}}) n^2} \sin \varphi \cdot \sin(n \cdot \gamma) \quad (1.6)$$

При работе группы вентильных преобразователей порядок расчета k_U следующий. По приведенным формулам определяются уровни высших гармоник напряжения для каждого преобразователя.

Одинаковые гармоники напряжения всех преобразователей геометрически суммируются $\dot{U}_{n\Sigma} = \sum_{i=2}^p \dot{U}_{ni}$ Затем определяется коэффициент несинусоидальности:

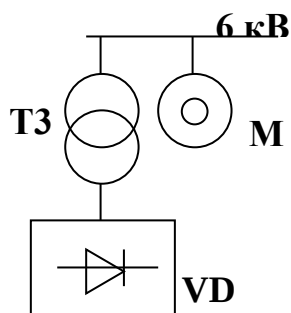
$$k_{U\Sigma} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^p U_{n\Sigma}^2}}{U_{\text{ном}}} 100$$

Особое внимание необходимо обращать на количество учитываемых гармоник, чтобы избежать ошибки в вычислении k_U . Чем больше количество преобразователей и фаз выпрямления, тем большее количество гармоник необходимо учитывать. Предлагается следующая эмпирическая формула:

$$p = n_{\text{max}} = 4qm + 1, \quad (1.7)$$

где n_{max} — наибольшая гармоника; q — число работающих преобразователей; m — число фаз выпрямления.

Пример 1. Для вентильного выпрямителя рассчитать коэффициенты n -ой гармонической составляющей напряжения и коэффициент несинусоидальности на шинах 6 кВ.



Исходные данные:

C: $S_{КЗ,6}=150$ МВА

T3: $S_{T3}=10$ МВА; $U_{ном}=6$ кВ; $u_{к,\%}=10,5\%$

VD: $S_{пр}=10$ МВА; $\cos \varphi=0,8$; $m=6$

M: $P_M=220$ кВт; $\cos \varphi=0,9$; $K_M=1,2$; $K_I=5,1$

Решение: Считаем сопротивление преобразователя по формуле (1.4)

$$x_{пр} = \frac{u_{к\%}}{100} \left(1 + \frac{k_p}{4}\right) \frac{S_{пр}}{S_{T3}} = \frac{10,5}{100} \left(1 + \frac{0}{4}\right) \frac{10}{150} = 0,066$$

где k_p – коэффициент расщепления обмоток (для двухобмоточного трансформатора равен 0)

Сопротивление системы

$$x_c = \frac{S_{пр}}{S_{КЗ,6}} = \frac{10}{150} = 0,067$$

Коэффициент несинусоидальности по упрощенной формуле (1.2)

$$k_u = 100 \cdot x_c \sqrt{\frac{0,955 \cdot \sin \varphi}{x_c + x_{пр}}} - 0,91 = 100 \cdot 0,067 \sqrt{\frac{0,955 \cdot 0,6}{0,067 + 0,066}} - 0,91 = 12\%$$

Согласно [1] допустимый коэффициент несинусоидальности для напряжения 6 кВ составляет 5%. Так как расчетный коэффициент больше допустимого, необходима установка фильтрующих устройств.

Согласно [2] для вентильных преобразователей необходимо учитывать в расчетах только 5, 7, 11, 13 гармоники.

Угол коммутации в радианах

$$\gamma = \frac{3(x_c + x_{пр})}{m \cdot \sin \varphi} = \frac{3(0,067 + 0,066)}{6 \cdot 0,6} = 0,11 \text{ рад}$$

где m – число фаз преобразователя.

Напряжения высших гармоник и коэффициенты n -ной гармонической составляющей по (1.5) и (1.3)

$U_n = \frac{m}{\pi \cdot n} U_{ном} \frac{x_c}{x_c + x_{пр}} \sin \varphi \cdot \sin(n \cdot \gamma), [\text{кВ}]$	$k_{U(n)} = \frac{U_n}{U_{ном}} 100, [\%]$
$U_5 = \frac{6}{\pi \cdot 5} 6 \frac{0,067}{0,067 + 0,066} 0,6 \cdot \sin(5 \cdot 0,11) = 0,36 \text{ кВ}$	$k_{U(5)} = \frac{0,36}{6} 100 = 6\%$
$U_7 = \frac{6}{\pi \cdot 7} 6 \frac{0,067}{0,067 + 0,066} 0,6 \cdot \sin(7 \cdot 0,11) = 0,35 \text{ кВ}$	$k_{U(7)} = \frac{0,35}{6} 100 = 5,8\%$
$U_{11} = \frac{6}{\pi \cdot 11} 6 \frac{0,067}{0,067 + 0,066} 0,6 \cdot \sin(11 \cdot 0,11) = 0,29 \text{ кВ}$	$k_{U(11)} = \frac{0,29}{6} 100 = 4,8\%$
$U_{13} = \frac{6}{\pi \cdot 13} 6 \frac{0,067}{0,067 + 0,066} 0,6 \cdot \sin(13 \cdot 0,11) = 0,26 \text{ кВ}$	$k_{U(13)} = \frac{0,26}{6} 100 = 4,3\%$

1.1. Дуговые сталеплавильные печи

Искажения питающего тока и напряжения при работе дуговых сталеплавильных печей возникают за счет нелинейной характеристики дуги и за счет нелинейной характеристики печного трансформатора, работающего при повышенных значениях магнитной индукции. Уровень высших гармоник тока при работе дуговых сталеплавильных печей сравнительно невелик, особенно по сравнению с высшими гармониками, генерируемыми вентильными преобразователями. Однако с ними следует считаться, так как мощность дуговых печей постоянно растет.

На основании экспериментальных исследований [2] получено соотношение для определения максимальных значений уровней отдельных гармоник тока при работе дуговых печей.

$$I_n = \frac{I_T}{n^2} \quad (1.8)$$

где I_T — ток печного трансформатора в расчетном режиме (для расчета максимальных значений гармоник надо брать в расчет номинальный ток печного трансформатора); $n=2, 3, 4, 5\ldots$ — номер соответствующей гармоники. Из соотношения видно, что достаточно в расчетах учитывать только до 7-й гармоники, так как остальные гармоники малы.

Для группы одинаковых дуговых сталеплавильных печей

$$I_{n,\Gamma} = I_n \sqrt[n]{N} \quad (1.9)$$

где N — число печей, одновременно работающих в режиме расплавления.

Для группы печей разной мощности

$$I_{n,\Gamma} = I_{n,\max} \sqrt{\sum_{i=1}^N S_{n,Ti} / S_{n,T\max}} \quad (1.10)$$

где $S_{n,Ti}$ — мощность i -го печного трансформатора; $S_{n,T\max}$ — наибольшая мощность трансформатора в группе дуговых печей; $I_{n,\max}$ — ток n -ой гармоники печного трансформатора наибольшей мощности; N — общее число работающих печей.

Для определения k_U в соответствующей точке сети необходимо определить уровни напряжения отдельных гармоник, генерируемых ДСП. Фазное напряжение гармоники в расчетной точке питающей сети находится из выражения

$$U_n = \frac{\sqrt{3} I_n n U_{\text{ном}}^2}{S_K} \quad (1.11)$$

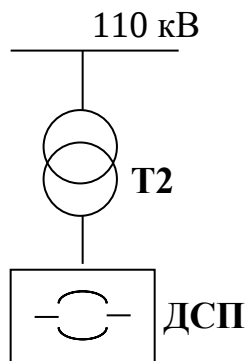
где I_n — действующее значение фазного тока n -ой гармоники; n — порядковый номер гармоники; $U_{\text{ном}}$ — номинальное линейное напряжение в расчетной точке; S_K — мощность КЗ в расчетной точке.

Общий коэффициент несинусоидальности в расчетной точке при работе дуговых сталеплавильных печей, %,

$$k_U = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^7 U_n^2}}{U_{\text{ном}}} 100 \quad (1.12)$$

где $U_{\text{ном}}$ — номинальное напряжение основной частоты в расчетной точке.

Пример 2. Для дуговой сталеплавильной печи рассчитать коэффициенты n -ой гармонической составляющей напряжения и коэффициент несинусоидальности на шинах 110 кВ.



Исходные данные:

C: $S_{K3,110}=2300$ МВА

T2: $S_{T2}=60$ МВА; $U_{\text{ном}}=110$ кВ

Решение: Считаем номинальный ток печного трансформатора

$$I_T = \frac{S_{T2}}{\sqrt{3}U_{\text{ном}}} = \frac{60}{\sqrt{3} \cdot 110} = 0,31 \text{ кА}$$

Согласно [2] в практических расчетах для дуговых сталеплавильных печей учитываются гармоники со 2-ой по 7-ю.

Токи, напряжения высших гармоник и коэффициенты n -ой гармонической составляющей напряжения рассчитываем по формулам (1.8), (1.11) и (1.3), где n – номер гармоники

$I_n = \frac{I_T}{n^2}, [\text{кА}],$	$U_n = \frac{\sqrt{3}I_n n U_{\text{ном}}^2}{S_{K3,110}}, [\text{кВ}]$	$k_{U(n)} = \frac{U_n}{U_{\text{ном}}} 100$ %, [%]
$I_2 = \frac{0,31}{2^2} = 0,078 \text{ кА}$	$U_2 = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,078 \cdot 2 \cdot 110^2}{2300} = 1,42 \text{ кВ}$	$k_{U(2)} = \frac{1,42}{110} 100 = 1,3\%$
$I_3 = \frac{0,31}{3^2} = 0,034 \text{ кА}$	$U_3 = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,034 \cdot 3 \cdot 110^2}{2300} = 0,93 \text{ кВ}$	$k_{U(3)} = \frac{0,93}{110} 100 = 0,85\%$
$I_4 = \frac{0,31}{4^2} = 0,019 \text{ кА}$	$U_4 = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,019 \cdot 4 \cdot 110^2}{2300} = 0,7 \text{ кВ}$	$k_{U(4)} = \frac{0,7}{110} 100 = 0,64\%$
$I_5 = \frac{0,31}{5^2} = 0,012 \text{ кА}$	$U_5 = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,012 \cdot 5 \cdot 110^2}{2300} = 0,55 \text{ кВ}$	$k_{U(5)} = \frac{0,55}{110} 100 = 0,5\%$
$I_6 = \frac{0,31}{6^2} = 0,009 \text{ кА}$		

$I_7 = \frac{0,31}{7^2} = 0,006 \text{ кА}$	$U_6 = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,009 \cdot 6 \cdot 110^2}{2300} = 0,49 \text{ кВ}$ $U_7 = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,006 \cdot 7 \cdot 110^2}{2300} = 0,38 \text{ кВ}$	$k_{U(6)} = \frac{0,49}{110} 100 = 0,45\%$ $k_{U(7)} = \frac{0,38}{110} 100 = 0,35\%$
---	--	--

Коэффициент несинусоидальности напряжения на шинах 110 кВ

$$k_U = \frac{\sqrt{\sum_2^7 U_n^2}}{U_{\text{ном}}} 100 = \frac{\sqrt{1,42^2 + 0,93^2 + 0,7^2 + 0,55^2 + 0,49^2 + 0,38^2}}{110} 100 = 1,83\%$$

Согласно [1] допустимый коэффициент несинусоидальности для напряжения 110 кВ составляет 2%. Так как расчетный коэффициент не превышает допустимый, установка фильтрующих устройств на шины 110 кВ не требуется.

1.2. Сварочные установки

По своему воздействию на несинусоидальность питающей сети сварочные нагрузки можно разделить на две категории: установки дуговой и контактной электросварки переменного тока, установки дуговой электросварки постоянного тока.

Установки дуговой электросварки переменного тока воздействуют на питающую сеть аналогично дуговым сталеплавильным печам. Включение сварочных машин контактной электросварки производится с помощью игнитронных или тиристорных ключей, которые для плавного регулирования сварочного тока снабжаются системами фазового регулирования угла зажигания, что приводит к искажению тока высшими гармониками, уровень которых аналогичен уровню гармоник для дуговой сварки переменного тока.

В общем случае для единичной установки электросварки переменного тока токи гармоник (рекомендуется учитывать только третью и пятую гармоники [2]) равны:

$$I_n = S_{\text{ном,т}} \beta_{\text{св}} \sqrt{\text{ПВ}} / (n^2 U_{\text{ном}}) \quad (1.13)$$

где $S_{\text{ном,т}}$ — номинальная мощность трансформатора; $\beta_{\text{св}}$ — коэффициент загрузки; ПВ — продолжительность включения.

Определение токов гармоник, генерируемых установками дуговой электросварки постоянного тока, аналогично определению гармоник для вентильных преобразователей. Токи гармоник (рекомендуется учитывать только 5, 7, 11, 13-ю гармоники) единичной установки дуговой электросварки постоянного тока определяются по формуле

$$I_n = \frac{I_{\text{св}}}{n} \quad (1.14)$$

где $I_{\text{св}}$ — номинальный первичный ток установки.

Для группы установок электросварки независимо от режима работы суммарные отдельные токи гармоник определяются согласно [2]

$$I_{\text{н,г}} = \sqrt{\sum_i^N I_{\text{ни}}^2} \quad (1.15)$$

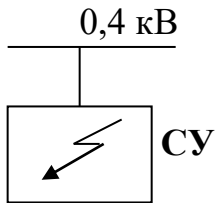
где I_{ni} — ток n -й гармоники i -й установки; N — общее число работающих установок.

Для оценки влияния сварочных нагрузок на сеть предприятия определяется общий коэффициент несинусоидальности по формуле, %

$$k_U = \frac{\sqrt{\sum_{n=5}^{13} U_n^2}}{U_{\text{НОМ}}} 100 \quad (1.16)$$

где $U_n = \frac{\sqrt{3} I_n n U_{\text{НОМ}}^2}{S_K}$ - напряжение n -й гармоники.

Пример 3. Для группы сварочных установок переменного тока рассчитать коэффициенты n -ой гармонической составляющей напряжения и коэффициент несинусоидальности на шинах 0,4 кВ.



Исходные данные:

С: $S_{K3,0,4}=2$ МВА

СУ: $S_{\text{НОМ}}=30$ кВА; $U_{\text{НОМ}}=0,4$ кВ; ПВ=60%; $\beta_{\text{св}}=0,5$; $N=6$

Решение: Согласно [2] в практических расчетах для сварочных установок переменного тока учитываются 3 и 5 гармоники.

Токи высших гармоник для группы сварочных установок рассчитываем по формулам (1.13) и (1.15), где n – номер гармоники

$I_n = \frac{S_{\text{НОМ}} \beta_{\text{св}} \sqrt{\text{ПВ}}}{n^2 U_{\text{НОМ}}}$	$I_{n,\Gamma} = \sqrt{\sum_i^N I_{ni}^2}$
$I_3 = \frac{30 \cdot 0,5 \cdot \sqrt{0,6}}{3^2 \cdot 0,4} = 3,23 \text{ A} \quad I_5 = \frac{30 \cdot 0,5 \cdot \sqrt{0,6}}{5^2 \cdot 0,4} = 1,16 \text{ A}$	$I_{3,\Gamma} = \sqrt{6 \cdot 3,23^2} = 7,91 \text{ A}$
	$I_{5,\Gamma} = \sqrt{6 \cdot 1,16^2} = 2,84 \text{ A}$

Напряжения высших гармоник и коэффициенты n -ой гармонической составляющей рассчитываем по формулам (1.11) и (1.3)

$U_n = \frac{\sqrt{3} I_n n U_{\text{НОМ}}^2}{S_{K3,0,4}}, [\text{кВ}]$	$k_{U(n)} = \frac{U_n}{U_{\text{НОМ}}} 100, [\%]$
$U_3 = \frac{\sqrt{3} \cdot 7,91 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 0,4^2}{2} = 3,29 \cdot 10^{-3} \text{ кВ}$	$k_{U(3)} = \frac{3,29 \cdot 10^{-3}}{0,4} 100 = 0,82\%$
$U_5 = \frac{\sqrt{3} \cdot 2,84 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 0,4^2}{2} = 1,97 \cdot 10^{-3} \text{ кВ}$	$k_{U(5)} = \frac{1,97 \cdot 10^{-3}}{0,4} 100 = 0,5\%$

Коэффициент несинусоидальности напряжения на шинах 0,4 кВ

$$k_U = \frac{\sqrt{\sum_3^5 U_n^2}}{U_{ном}} 100 = \frac{\sqrt{0,82^2 + 0,5^2}}{0,4} 100 = 2,4\%$$

Согласно [1] допустимый коэффициент несинусоидальности для напряжения 0,4 кВ составляет 8%. Так как расчетный коэффициент не превышает допустимый, установка фильтрующих устройств на шины 0,4 кВ не требуется.